

Neurolinguistische Grundlagen

Physiologie, Neurologie, Motorik und Kognition des Schreibens

Physiologische und biodynamische Aspekte der Handschrift

Die Hand ist das am höchsten differenzierte Bewegungsorgan des menschlichen Organismus. Da Bewegungen der Hand auch über Muskeln und Bänder im Unterarm initiiert werden, finden sich in der Literatur je nach deren Einbezug widersprüchliche Angaben zur Anzahl von Muskeln, Gelenken und Knochen. So spricht Wiesendanger (2005) von 24 Knochen, 16 Gelenken und 18 kleinen und 15 langen Muskeln. Schiebler (2005) hingegen benennt und beschreibt 19 Unterarmmuskeln, 4 Muskeln des Daumenballens, 11 Hohlhandmuskeln und 4 Muskeln des Kleinfingerballens. Die Handgelenke bestehen laut Schiebler (2005) aus 15 Knochen und lassen sich in die Handwurzelgelenke und die Gelenke der Mittelhand unterteilen. Unter den Handwurzelgelenken nimmt dasjenige für den Daumen eine Sonderstellung ein, da es als Sattelgelenk eine größere Zahl von Bewegungsrichtungen ermöglicht als die der Finger. Auch bei den Fingergrundgelenken hat das Daumengrundgelenk als reines Scharniergelenk eine Sonderstellung gegenüber den in ihrer Bewegung eingeschränkten Kugelgelenken der vier anderen Finger. Alle übrigen Fingermittel- und Endgelenke sind ebenfalls reine Scharniergelenke. Die Gelenkzahl nimmt distal zu, d.h. je weiter die Extremität von der Körpermitte entfernt liegt, desto kleiner wird der Abstand zwischen den Gelenken.

Die eigentliche Bewegungsausführung des Schreibens wird aufgrund der relativ begrenzten Funktion einzelner Gelenke nur durch eine Bewegungskoordination ermöglicht; es sind also immer mehrere Gelenke und Muskeln (Unterarm- und Handmuskeln) zu einer "funktionellen Synergie orchestriert" (Wiesendanger, 2005: 165). Schreibbewegungen werden vor allem durch drei Gelenk/Muskel-Systeme bewirkt.

1. Die Mittel- und Endgelenke des Daumens und der Finger erlauben als Scharniergelenke nur Bewegungen um eine Achse mit zwei Bewegungsrichtungen. Durch gleichzeitiges Stecken und Biegen des Daumens, des Zeige- und des Mittelfingers wird der Stift etwa quer zur Schreibrichtung auf und ab bewegt. Je nach Schriftgröße betragen diese Bewegungen normalerweise ca. 0,5 bis 1,5 cm, maximal je nach Größe der Hand ca. 4 bis 7 cm.
2. Kleinere, feinmotorische Bewegungen in und entgegen der Schreibrichtung werden vom Handgelenk vollführt. Das Handgelenk kann zwar auch kreisförmige Bewegungen ausführen, wird beim Schreiben aber fast nur wie ein Scharniergelenk eingesetzt, da ein Abheben der Hand von der Schreibfläche in erster Linie in Verbindung mit dem Unterarm geschieht. Bewegungen entgegen der Schreibrichtung erfolgen durch die Flexion in Richtung Speiche (d.h. der Daumenseite; flexor carpi radialis) und betragen meist weniger als 0,5 cm; in Schreibrichtung wird durch die Flexion in Richtung Elle oft eine Distanz bis zur Länge eines Wortes überbrückt (Kleinfingerseite; extensor carpi ulnaris). Es ergeben sich also wiederum zwei Hauptbewegungsrichtungen, die etwa orthogonal (abhängig von der Schriftneigung) zu den beiden oben beschriebenen stehen.
3. Weiträumigere Bewegungen in und entgegen der Schreibrichtung werden durch eine Abspreizung des Oberarms vom Oberkörper erreicht, die durch eine laterale Drehung des Arms im Schultergelenk (Kugelgelenk) und ausgleichende Beugung/Streckung und Drehung des Ellenbogengelenks (Drehscharniergelenk) unterstützt wird. Diese Bewegungen fallen häufig mit den Wortgrenzen zusammen und der Stift befindet sich in der Regel

währenddessen nicht auf dem Papier. Da beim Schreiben meist der Unterarm aufliegt, kann die gute Beweglichkeit des Schultergelenks nur begrenzt genutzt werden.

Die vielfältigen Bewegungen, die das Schreiben mit der Hand erfordert, können nur durch eine Koordination der zwei Achsen (Freiheitsgrade) bzw. der vier Hauptbewegungsrichtungen entstehen. Aus diesen beiden Freiheitsgraden ergibt sich die Höhe und die Breite der Buchstaben. Diese Beschreibung bezieht sich auf Rechtshänder sowie auf Linkshänder, deren Hand sich bei der Schreibung unterhalb des Schriftzuges befindet (bei letzteren sind jedoch die Handgelenk- und Schultergelenkbewegungen umgekehrt). Des Weiteren ist die Schreibhand bei einigen Linkshändern oberhalb der Schreibspur positioniert (vermutlich um das bereits Geschriebene besser lesen zu können); hier sind die Rollen des Handgelenks einerseits und des Daumens und der Finger andererseits vertauscht (vgl. Wing, 1978).

Neurologische Aspekte der Handschrift

Beispiel: Tamil  Grantha-Zeichen (nur in Lehnwörtern)

Es zeigt sich eine "überproportionale[n] neuronale[n] Repräsentation der Hand im primär-motorischen Kortex" (Wiesendanger, 2005: 168). Bei der Handschrift sind jedoch noch weitere Areale aktiv. Aus Untersuchungen mit Hilfe der Positronen-Emissions-Tomographie (PET) und der funktionellen Magnetresonanztomografie (fMRI; Seitz, 1995: 264) geht hervor, dass unterschiedliche Schreibaufgaben abhängig von der Expertise von verschiedenen Hirnregionen gesteuert werden bzw. abhängig sind:

"Zusammenfassend deuten die Ergebnisse der funktionellen Bildgebung darauf hin, dass der prämotorische Cortex des Menschen in funktionell differente Subregionen differenziert werden kann. Dabei scheint es so zu sein, dass die supplementär motorische Area von besonderer Bedeutung für die interne Generierung von Präzisionsbewegungen ist. Demgegenüber scheint der dorsolaterale Prämotorcortex bei der Bewegungsspezifizierung somatosensorisch geführter und trajektoreller Bewegungen bedeutsam zu sein."

Anhand dieser Untersuchungsmethoden lassen sich unterschiedliche Areale identifizieren, die einerseits für das Erlernen und andererseits für die automatisierte Ausführung feinmotorischer Bewegungen zuständig sind. Den Probanden der Untersuchung von Seitz (1995) wurde die Aufgabe gestellt, Phantasiebuchstaben (Ideogramme) zu erlernen und zu üben. Um gleichzeitig PET-Messungen vornehmen zu können, fand die Ausführung liegend statt und das visuelle Feedback wurde über einen Monitor gegeben. Die Schreibspur wurde mit einem Schreibtablett gemessen. Messungen wurden vorgenommen a) während der ersten Lernphase, b) nach einer Viertelstunde Übung (Performance-Phase) sowie c) während der Schreibung des bekannten Buchstabens <r>, der in fünf verschiedenen Größen je einmal möglichst schnell und einmal möglichst exakt geschrieben werden sollte. Die vier Aufgaben unterschieden sich signifikant bezüglich der durchschnittlichen Schreibgeschwindigkeit in drei Stufen (Lernphase: ca. 70 mm/s; Performance-Phase und exaktes Schreiben: ca. 100 mm/s; schnelles Schreiben: ca. 150 mm/s) sowie in den bei den Versuchspersonen signifikant gemeinsamen Aktivierungsarealen. Während in der Lernphase vor allem linksseitig im motorischen Kortex und rechtsseitig im Nucleus dentatus und im Vermis erhöhte Aktivierung auftrat, waren in der Performance-Phase zusätzlich prämotorische Aktivierungsareale tätig. Bei den Schreibungen des <r> erhöhte sich die Aktivierung des prämotorischen Cortex sowohl hinsichtlich der Größe des Areals als auch des Grades. Im rechtsseitigen Nucleus dentatus hingegen nahm die Aktivierung ab und war unter der Bedingung des schnellen Schreibens nicht mehr nachweisbar. Des Weiteren waren unter allen Bedingungen

Regionen des parietalen Assoziationscortex aktiv, der für das Bewegungssehen und die gerichtete Aufmerksamkeit verantwortlich ist (vgl. Seitz, 1995: 266 ff.). Demnach werden mindestens für das Erlernen einer Schreibe Bewegung vorwiegend andere Hirnareale aktiviert als für automatisierte Bewegungsausführungen.

Formen des Feedbacks

Propriozeptives Feedback

Der Einfluss des propriozeptiven Feedbacks (Eigenwahrnehmung des Körpers) auf die Handschrift ist nach einer Untersuchung von Denier van der Gon und Thuring (1965) eher gering, obwohl die Zahl der Muskelspindeln in der Handmuskulatur sowie die Rezeptorendichte der Haut (vor allem in den Fingerspitzen; taktile Gnosis) relativ hoch ist. In einem Experiment, in dem während der Schreibungen die Reibung des Stiftes auf dem Papier kurzfristig und unerwartet für den Schreiber erhöht wurde, konnten die Versuchspersonen dies nicht kompensieren und produzierten kleinere Buchstaben, wenn auch ohne eine Veränderung der Gesamtdauer der Bewegung. Diese Abweichungen wurde von den Versuchspersonen erst einige Striche später (über den visuellen Kanal, s.u.) bemerkt. Als Begründung hierfür lässt sich anführen, dass es sich wie bei Griffkorrekturen der Hand "nicht um spinale Dehnungsreflexe, sondern um komplexere polysynaptische Reaktionen, die möglicherweise auch supraspinale Strukturen einschließen" (Wiesendanger, 2005: 167) handelt. Die späte Reaktion deutet also darauf hin, dass es sich nicht nur um einen Dehnungsreflex handelt, bei dem Muskelspindeln über rasch leitenden Nervenfasern (80-120 m/s) Aktionspotentiale an das Rückenmark senden und einen monosynaptischen Reflex auslösen (de Marées, 1981), sondern dass Strukturen beteiligt sind, die über die schnellen Reizleitungen des Rückenmarks hinausgehen und vermutlich unter der Kleinhirnrinde gelegene Strukturen mit einschließen. Dies heißt natürlich nicht, dass propriozeptives Feedback keinen Einfluss auf die Schreibung hat, jedoch scheint sich dieses eher auf Schreibe Bewegungen auszuwirken, die als geführte Bewegungen bezeichnet werden, visuell kontrolliert sind und vor allem im Lern- bzw. Übungsprozess vorkommen. Im Gegensatz dazu reicht die Geschwindigkeit des propriozeptiven Feedbacks für automatisiert ausgeführte Schreibe Bewegungen nicht aus.

Visuelles Feedback

Auch das visuelle Feedback scheint zu langsam für Anpassungen automatisierter Bewegungen zu sein und tritt erst in Kraft, nachdem Störungen aufgetreten sind (Teulings & Schomaker, 1993) und die Bewegung in kontrollierter Form fortgesetzt bzw. wiederholt wird. Tatsächlich sind die so genannten Blickfolgebewegungen (smooth pursuit) nicht schnell genug, um die Schreibe Bewegungen eines routinierten Schreibers, der etwa fünf Auf- und Abstriche pro Sekunde ausführt (5 Hz), kontinuierlich zu verfolgen, d.h. die Stiftspitze kann bei normaler Schreibgeschwindigkeit nicht scharf gesehen werden. Auch Blicksprünge (Sakkaden), die gemessen an der Winkelgeschwindigkeit zu den schnellsten Bewegungen zählen, zu denen der menschliche Körper in der Lage ist, können nicht zum scharfen Sehen der Stiftspitze beitragen, da diese sich auf verhältnismäßig kleinem Raum bewegt und die Bewegungsrichtung sich mit der genannten hohen Frequenz verändert. Die hauptsächliche Rolle des visuellen Feedbacks scheint eher darin zu liegen, das unmittelbar fertiggestellte Produkt zu prüfen (bei rechtsläufiger Schrift liegt der Blick also knapp links der Stiftspitze), und dabei Eigenschaften wie z.B. die Einhaltung des horizontalen Verlaufs oder der Schriftgröße zu kontrollieren. Hierfür scheint das visuelle Feedback schnell genug, wie Marquardt, Gentz & Mai (1996) in einem Experiment zeigen konnten,

in dem die visuelle Kontrolle über einen PC-Monitor in Bezug auf die Größe manipuliert wurde. Die Versuchspersonen passten die Größe des folgenden Buchstabens ohne Einbußen bei der Schreibflüssigkeit an das um ein Drittel vergrößerte bzw. verkleinerte Feedback an. Gestützt werden diese Ergebnisse durch die Untersuchung von Kandel, Orliaguet & Boë (1994), in der Versuchspersonen einen folgenden Buchstaben besser vorhersagen konnten, wenn ihnen die Produktion des vorhergehenden Buchstabens gezeigt wurde als wenn Sie nur das Endprodukt betrachten konnten. Dieses Ergebnis deutet auf implizites Wissen über die Dynamik der Handschrift hin, das über den visuellen Kanal aktiviert werden kann. In Experimenten mit unterdrückter Sichtkontrolle (van Galen, Smyth, Meulenbroek & Hylkema, 1989) zeigte sich eine Verlangsamung der Schreibgeschwindigkeit, die jedoch individuell sehr unterschiedlich ausfiel. Dabei waren Strichwiederholungen wie in <m> und <n> anfälliger für Verlangsamungen. Hieraus schlossen die Autoren, dass die visuelle Kontrolle auch dazu diene, die Kurzzeitspeicher von bereits geschriebenen zu entlasten. Darüber hinaus wird die visuelle Kontrolle von Schreibanfängern oder neurologischen Patienten eingesetzt, die die automatisierte Bewegungsausführung noch nicht oder nicht mehr beherrschen. Hier erfolgt die Schreibbewegung so langsam, bzw. verlangsamt, dass eine Blickfolgebewegung möglich ist. Dabei unterscheiden sich weiter Erstschriftlerner von Lernern eines weiteren Schriftsystems dadurch, dass letztere bereits auf ein großes Repertoire von Bewegungsmustern zurückgreifen können, für die eine visuelle Kontrolle nicht notwendig ist. Bereits automatisierte Schreibbewegungen werden durch die bewusste visuelle Kontrolle eher gestört als gestützt (Mai, Marquardt & Quenzel, 1997).

Dynamische Einheiten der Handschrift

- stetiger Wechsel zwischen Schriftzug (Schreibspur, die vom Aufsetzen bis zur folgenden Abhebung des Stiftes produziert wird) und Luftsprung (Pause zwischen zwei Schriftzügen)
- Luftsprunghäufigkeit variiert zwischen Schreibern sehr stark, hängt von deren Schrifttyp ab
- Erwachsene produzieren ca. 0,8 bis 2,9 Buchstaben pro Schriftzug (Mittel: ca. 1,5; stark variabel)

Exkurs: Graphem

In den meisten alphabetischen Schriftsystemen existieren für ein Graphem durch die Groß- und Kleinschreibung mindestens zwei verschiedene Zeichen. Viele Schreiber haben darüber hinaus durch Druck- und Handschrift ein Repertoire von mehreren unterschiedlichen Versionen eines Buchstabens oder die Form hängt von der Position innerhalb eines Wortes ab (vor allem bei verbundenen Schriften). Die unterschiedlichen Formen, die ein Buchstabe annehmen kann, werden als seine Allographen bezeichnet. Ein einzelner schriftlich realisierter Buchstabe wird als Graph benannt (siehe Abbildung); dabei ist seine Zugehörigkeit zu einem Graphem noch nicht weiter bestimmt. Ein Graphem kann im Deutschen durch bis zu drei Buchstaben/Graphen repräsentiert sein (z.B. <sch> = Trigraphem).

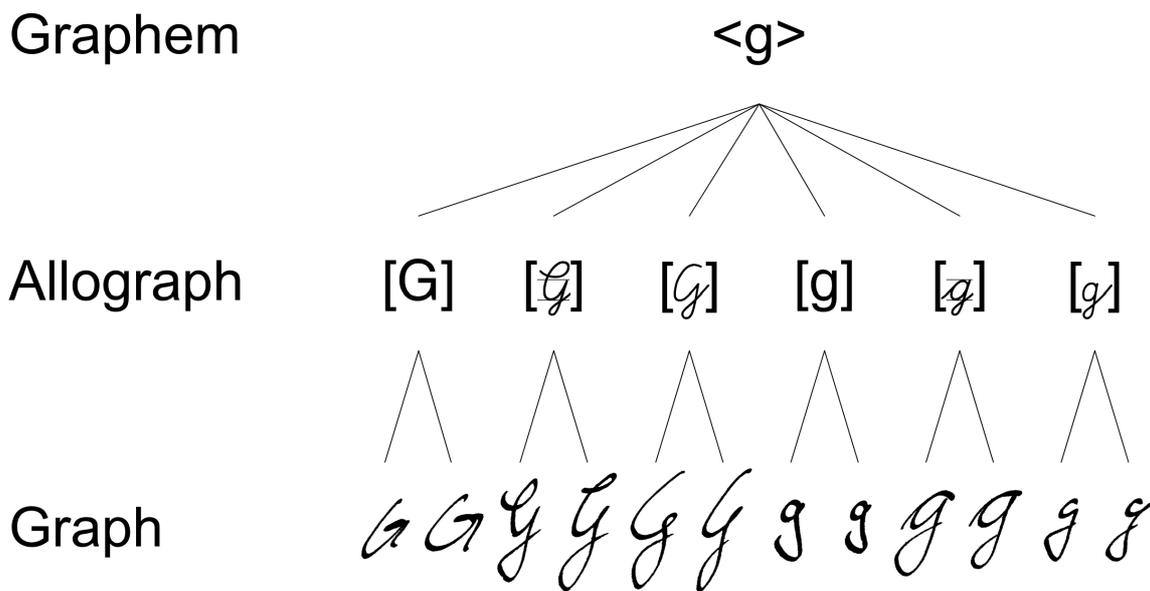


Abbildung 1: Der schriftlichen Realisierung (Graph) liegen abstrakte motorische Programme in Form von Allographen zugrunde; diese wiederum sind als Graphem lexikalisiert. Als Allographen sind hier Druckschrift, Lateinische Ausgangsschrift und Vereinfachte Ausgangsschrift gewählt (Abbildung angelehnt an Ellis [1982: 129]).

Automatisierte und geführte Schreibbewegungen

Schreibbewegungen kompetenter Schreiber sind hochgradig überlernte Bewegungen, deren Bewegungsablauf stark automatisiert ist. Innerhalb der Schriftzüge ergibt sich aus physikalischen Gesetzmäßigkeiten ein ständiges An- und Abschwelen der Schreibgeschwindigkeit (z.B. wird die Geschwindigkeit in einem Umkehrpunkt immer Null sein). Weitere Geschwindigkeitsschwankungen werden durch graphomotorische oder graphotaktische Bedingungen verursacht. Als Basiseinheit wird hier das Graphem angenommen, das sich wiederum aus mehreren Auf- und Abstrichen als kleinsten motorischen Einheiten zusammensetzt.

Wären alle diese Geschwindigkeitsschwankungen rein motorisch bedingt, so müsste sich, unabhängig davon, ob diese Struktur von der motorischen Planung, den ausführenden Extensoren oder beiden determiniert wird, ein zyklisch-konstantes zeitliches Muster ergeben. Dies ist zu weiten Teilen tatsächlich der Fall, setzt aber voraus, dass die Schreibbewegung automatisiert ausgeführt wird, d.h. dass ihre Ausführung zwar bewusst angestoßen wird, aber unbewusst ausgeführt werden kann, weil die Bewegung bereits vor ihrer eigentlichen Ausführung vollständig in einem Motorprogramm spezifiziert ist (feed forward control). Automatisierte Bewegungen unterliegen wegen ihrer hohen Geschwindigkeit während der Ausführung nicht mehr der willkürlichen Kontrolle (s.o.).

Das Profil des vertikalen Geschwindigkeitsverlaufs eines automatisiert ausgeführten Auf- oder Abstriches ist idealtypisch ballistisch. Dieses Profil ergibt sich aus dem Einsatz der beteiligten Muskulatur, deren Aktivität mit Hilfe neurologischer Methoden untersucht werden kann. Für die Untersuchung der Muskelaktivität während der Schreibung wird die Elektromyographie (EMG; Methode der medizinischen Elektrodiagnostik, bei der mit Hilfe von Oberflächenelektroden die Potenzialdifferenzen in großen Muskelfasergruppen gemessen werden) eingesetzt. Aus solchen Messungen (z.B. Denier van der Gon & Thuring, 1965) ist

bekannt, dass die Aktivität des Agonisten (des Muskels, der eine Bewegung in eine bestimmte Richtung bewirkt) meist auf die Zeit vor und zu Beginn der Bewegung beschränkt ist und von antagonistischer Muskelaktivität (gegenspielende Muskelarbeit, die die eingeleitete Bewegung wieder abbremst) gefolgt wird. Hieraus ergibt sich, dass die meisten Auf- und Abstriche der Schreibung eines Buchstabens in ballistischer Form erfolgen, das heißt, dass die Geschwindigkeit der Bewegung zunächst zunimmt, idealerweise in der Mitte ihre höchste Geschwindigkeit erreicht und anschließend wieder kontinuierlich abnimmt, vergleichbar mit der Bewegung eines Pendels. Der automatisierte Ablauf des Motorprogramms kann psycholinguistischen Modellen zufolge aus (mindestens) zwei Gründen gestört werden:

1. durch die Belastungsspitze eines parallel aktiven Prozesses (z.B. orthographische Prozesse zur Entscheidung eines Problemfalls) oder
2. durch Unzulänglichkeiten der Repräsentation oder der Umsetzung des Motorprogramms (bei einem selten auftretenden Buchstaben wie z.B. "q").

Bei den so genannten geführten Bewegungen treten zusätzliche Kontrollmechanismen in Kraft. Sie sind gekennzeichnet durch starke Schwankungen und damit durch einen häufigen Wechsel zwischen positiver und negativer Beschleunigung, der durch die hohe Anzahl der Soll-Ist-Wert-Vergleiche zustande kommt.

Tabelle 1: Merkmale automatisierter und geführter Schreibbewegungen

<i>Merkmal</i>	<i>automatisierte Schreibbewegung</i>	<i>geführte oder gestörte Schreibbewegung</i>
Geschwindigkeitsverlauf (vy) bei Auf- und Abstrichen	ballistisch, eingipflige Glockenkurve	ungleichmäßig, mehrgipflige Kurve; ggf. Stillstand
hauptsächlich beteiligte Hirnregionen	supplementär motorische Area	dorsolateraler Prämotorcortex
Motorprogramm	motorisches Programm stabil, Gruppen von Strichen bilden eine motorische Einheit	Unterbrechung des Motorprogramms; noch instabiles Motorprogramm
Bewegungskontrolle, Feedback	unbewusst, verzögert; offene Schleife (feed forward)	bewusst, visuelles und propriozeptives Feedback durch Verlangsamung möglich; geschlossene Schleife (feedback control)

Entwicklungsstufen der Schreibmotorik

Im Hinblick auf die Entwicklung der einzelnen Prozesse der Motorik beschreiben Meulenbroek & van Galen (1986) drei grobe Entwicklungsstufen. Die einzelnen Striche fünf- bis sechsjähriger Kinder haben größtenteils nur eine sehr kurze Dauer und werden stark beschleunigt. Obwohl diese Striche meist ballistisch ausgeführt werden, resultiert aus der großen Geschwindigkeit eine nur geringe Kontrolle über die Bewegungsform und -richtung (hier kommt also das Gesetz von Fitts zum tragen, nach dem die Zielgenauigkeit negativ mit der Geschwindigkeit korreliert). Die Notwendigkeit der Kontrolle führt bei den Kindern im Alter von etwa sieben bis acht Jahren zu einer eher instabilen Ausführung (vorwiegend visuell kontrollierte geführte Bewegungen, vor allem bei neu erlernten Zeichen) bis etwa ab dem neunten Lebensjahr die Zahl der automatisierten Bewegungen, die mit mittlerer Geschwindigkeit wieder ballistisch ausgeführt werden, anfängt zu überwiegen. Parallel hierzu entwickelt sich ein mehr oder weniger individueller Stil, der häufig mit einer Ökonomisierung der Buchstabenformen einhergeht. Diese

Entwicklung setzt sich bis weit über die Pubertät hinaus fort. So fanden Tarnopol & Feldman (1987) einen starken Einfluss des persönlichen Stils auch in höheren Altersstufen. In einer Studie mit 160 Mädchen in den USA fanden sie in der 9. Klasse noch 48%, die nach wie vor die Ausgangsschrift (s.u.) schrieben, in der 12. Klasse hingegen waren es nur noch 12%.

Einfluss der vermittelten Schrifttype

Bei der Ökonomisierung der Handschrift verändern die Schreiber die ursprünglich erlernte Schrift in Bezug auf zwei Aspekte: 1. die Buchstabenform und 2. die Buchstabenverbindungen. Beides wird zunächst durch die Normschriften detailliert vorgegeben. Im deutschen Schulsystem wurden mindestens bis in die achtziger Jahre (aber größtenteils auch heute noch) verbundene Schreibschriften vermittelt: seit 1953 die Lateinische Ausgangsschrift, ab etwa 1980 mehr und mehr die Vereinfachte Ausgangsschrift. Mit der Einführung Letzterer setzte eine längere Diskussion ein, die sich mit Eigenschaften wie Anzahl der Drehrichtungswechsel und Deckstriche, Formkonstanz und Struktursynchronizität befasste und vor allem die Vorteile der jeweils vertretenen Schrifttype gegenüber der anderen beleuchtete. Mit dem Argument der besseren Strukturierung der Bewegungsphasen wurden für die Vereinfachte Ausgangsschrift Vorteile bei der Aneignung der Rechtschreibung vorhergesagt (z.B. Grünewald, 1970, 1987). Mit heutigem Vokabular würde man die Vorteile mit einer Freisetzung kognitiver Kapazität mittels einer Reduktion der motorischen Komplexität erklären. Einem Zusammenhang mit der Rechtschreibleistung wurde allerdings heftig widersprochen: Korrelationen würden nur schwache Zusammenhänge zeigen (vgl. Topsch, 1996: 59). Der stärkste Zusammenhang betreffe die negative Korrelation zwischen Unterbrechungen in Bewegungsphasen und einer niedrigen Anzahl richtiger Wörter in einem Rechtschreibtest. Aus graphomotorischer Sicht deuten Unterbrechungen von Bewegungsphasen stark auf Unsicherheiten hin – hier wird der normale, automatisierte Bewegungsfluss unterbrochen weil es zu einer Störung des Ablaufs kommt. Diese Störungen können bei der Wortschreibung ihre Ursache in Rechtschreibschwierigkeiten oder (basaler) in der motorischen Ausführung haben. Daher ist es wenig überraschend, dass diese Schüler tendenziell weniger Wörter richtig schreiben – ein ursächlicher Zusammenhang mit der Schrifttype ist aber rein hypothetisch.

In der Rückschau muss diese Diskussion als relativ fruchtlos bewertet werden, denn letztlich sind beide Schrifttypen nicht konsequent auf die Optimierung der Bewegungsabläufe ausgerichtet, so lange auf die maximale Verbundenheit bestanden wird und damit kann auch die erhoffte Freisetzung kognitiver Kapazitäten für andere Prozesse nicht im erforderlichen Maße erfolgen. Dies soll an einem Beispiel verdeutlicht werden: Ein grundlegendes Argument der Befürworter der Vereinfachten Ausgangsschrift ist die Formstabilität. In der Vereinfachten Ausgangsschrift bleibt z.B. das <e> formstabil, d.h. es behält immer die gleiche Form, unabhängig davon welcher Buchstabe zuvor geschrieben wurde. In der Lateinischen Ausgangsschrift dagegen, ändert sich die Form je nach Kontext, z.B. das <e> beginnt dort, wo der vorige Buchstabe aufgehört hat (vgl. LA: <æ> vs. <al>; VA: <æ> vs. <ae>). Die Formstabilität der Vereinfachten Ausgangsschrift (die isoliert betrachtet sicherlich eine Vereinfachung darstellen würde) wird aber erkauft durch eine Unterbrechung des Schreibflusses (siehe Abbildung A).

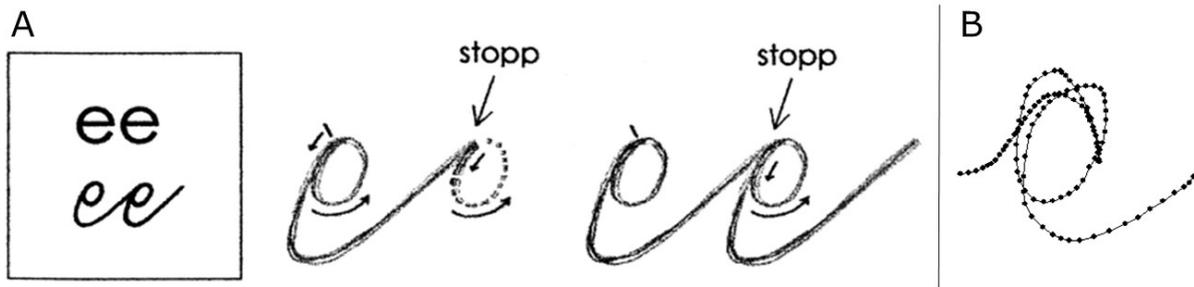


Abbildung 2: Vorlage für das <e> aus dem "Schreib-Kurs zur Vereinfachten Ausgangsschrift" von Frede, Grünewald und Kleinert (2002) (A); Beispiel für die motorische Ausführung eines <e> der VA. Es handelt sich um eine für die Schülerin typische Ausführung (B).

Hinzu kommt, dass selbst in der Idealausführung (Abbildung A) ein Punkt des am häufigsten verwendeten deutschen Buchstabens drei Mal mit der Stiftspitze überfahren werden muss. In der Praxis zeigen sich aber öfter Schreibungen, bei denen ein weit längeres Stück mehrfach geschrieben wird. Die Ausführung im Beispiel (Abbildung B) entspricht also nicht der eigentlichen Anweisung, dafür aber der tatsächlichen Ausführung vieler Schüler. Schließlich wird in der Schule meist verlangt, dass die Deckstriche sich möglichst überlappen. Diese Genauigkeit ist aber nur durch eine stärkere Kontrolle zu erreichen, die wiederum zu einer Reduktion der Schreibgeschwindigkeit führen muss. In der Lateinischen Ausgangsschrift ist die Zahl der Deckstriche insgesamt noch höher und einige Majuskeln gehören eher in die Kalligraphiestunde als in das Aufgabenheft motorisch noch ungeübter Sechsjähriger. So fand Mai (1991) in einer Untersuchung zum Zeitvorteil vereinfachter Formen gegenüber der Lateinischen Ausgangsschrift für das <K> bei Erwachsenen einen Unterschied von knapp 800 ms, für das <L> knapp 600, für <G> etwa 550 und für das <H> 500 ms. Erst in den letzten Jahren tragen die von Meis (1963) und Mai (1991) bzw. Mai & Marquardt (1998) vorgetragenen Bedenken gegen die verbundenen Schriften Früchte und es zeigen sich Tendenzen auf diese ganz zu verzichten (z.B. Bartnitzky, 2005 [Aufruf des Grundschulverbandes]) oder durch für die Motorik optimierte Formen als Richtvorgabe zu ersetzen (Mahrhofer-Bernt, 2005; Mahrhofer, 2004; Mahrhofer & Speck-Hamdan, 2001). Zuletzt sei noch auf eine Untersuchung von Meulenbroek & van Galen (1990) verwiesen, nach der Schüler der zweiten bis sechsten Klasse unabhängig vom Alter eine längere Reaktionszeit für die Schreibung von Buchstaben benötigen, wenn diese ihnen zuvor in Druckschrift präsentiert wurden als wenn diese in der erlernten kursiven Schrift dargeboten wurden. Dieser Effekt wird von einer Reihe weiterer Variablen verstärkt: Uneindeutigkeit der Buchstabenform, höhere Anzahl der Allographen für ein Graphem und geringe Buchstabenfrequenz. Die Autoren führen dies auf einen (mehr oder weniger erschwerten) zusätzlichen Übersetzungsschritt zurück, ohne jedoch den Schluss zu ziehen, dass dieser vermieden werden könnte, wenn auf die Vermittlung einer kursiven Schrift gänzlich verzichtet würde.

In den Handschriften von Erwachsenen finden sich meist nur noch Anlehnungen an die gelernten Schrifttypen. Wie oben schon erwähnt ergaben Langzeitstudien, dass die Anpassung an den eigenen Stil etwa ab dem achten Lebensjahr beginnt und sich bis ins Erwachsenenalter hineinziehen kann. Dabei zeigte sich jedoch auch, dass sich Anpassungen schubweise und zu individuell unterschiedlichen Zeiten vollziehen.

In Bezug auf den Aspekt der Buchstabenform verwenden erwachsene Schreiber vielfach abgewandelte, meist an die Druckschrift angelehnte und vereinfachte Formen. Insbesondere die Großbuchstaben der Ausgangsschriften nutzen Erwachsene kaum noch. Elemente der Anpassungen der Buchstabenform sind:

- ausgelassene Striche (vor allem Aufstriche und Schleifen),
- vereinfachte Striche (geradere Linien, weniger Drehrichtungswechsel),
- Aufgabe der Verbundenheit, d.h. Einsatz von "Luftsprüngen" anstelle von auf dem Papier ausgeführten Strichverbindungen,
- Abweichungen vom dextralen Prinzip, d.h. nicht alle Buchstabenschreibungen enden auf der in Schriftrichtung gelegenen Seite wie in den Ausgangsschriften, sondern teilweise sinistral, also auf der entgegen der Schriftrichtung gelegenen Seite (z.B. <s> [in Anlehnung an die Druckschrift und von oben nach unten geführt], <p>,) oder richtungsneutral (z.B. <o>, <i>),
- Hinzufügungen von Merkmalen zur Identifikation (z.B. ein Strich über dem <u> um es vom identisch ausgeführten <n> zu unterscheiden),
- ästhetisch motivierte Veränderungen.

Alle genannten Elemente bedingen sich meist gegenseitig. Die erhöhte Zahl der Abhebungen während der Schreibung ist auch das zentrale Merkmal des zweiten Aspektes der Veränderung der Schrift: den Buchstabenverbindungen. Routinierte Schreiber haben einen großen Teil der Buchstabenverbindungen vereinfacht, indem diese mit Luftsprüngen überbrückt werden. Die Mehrzahl dieser veränderten Buchstabenverbindungen lassen sich auf die oben beschriebenen veränderten Buchstabenschreibungen zurückführen. Jedoch ist nicht jedes Bewegungsmuster für Buchstabenverbindungen in gleicher Weise dazu geeignet, durch einen Luftsprung ökonomisiert zu werden. Ob dies der Fall ist, hängt stark von der verwendeten Buchstabenform ab und wo der letzte Strich eines Buchstabens endet (sowohl horizontal: dextral, sinistral oder richtungsneutral, als auch vertikal: oben, mittig oder unten). So findet z.B. zwischen <d> und <a>, <e> und <d> sowie <s> und <c> bei sehr vielen Schreibern eine Abhebung des Stiftes vom Papier statt, da der zweite Buchstabe meist rechts oben am Mittelband begonnen wird und der vorhergehende unten endet. Dagegen werden die Buchstabenkombinationen <le>, <ie>, <un> und <ch> häufig ohne Absetzung geschrieben, weil die Anbindung bewegungsökonomisch in den meisten Formen sinnvoll ist, da der zweite Buchstabe dort begonnen werden kann wo der erste aufgehört hat. Eine Systematik dieser Art wird von allen kompetenten Schreibern angewandt; sie unterliegt aber einer individuellen Variabilität (siehe unten).

Als weitere Ursache der Unterbrechungen haben Mai & Marquardt (1995^a: 568 f.) neben der Ökonomisierung vor allem die Motorik im Blick. Jeder Luftsprung dient auch der Entspannung der beim Schreiben beteiligten Muskulatur, denn die Durchblutung eines angespannten Muskels ist stark herabgesetzt. Durch die Entspannung können die Muskeln also besser durchblutet werden und mit Gasen, Nähr- und Wirkstoffen versorgt werden, bzw. Stoffwechselprodukte können abtransportiert werden. Würden diese Entspannungsphasen unterbleiben, so würden die Muskeln nach einiger Zeit verkrampfen. Dies äußert sich unter anderem darin, dass der Druck auf die Schreibunterlage und die Griffkraft, mit der der Stift gehalten wird, ansteigen je mehr Buchstaben in einem Zug geschrieben werden (Denier van der Gon und Thuring, 1965; Mai & Marquardt, 1995^b: 29).

Die beschriebenen Abwandlungen der Buchstabenformen und der Buchstabenverbindungen führen neben ästhetischen Veränderungen vor allem zu einer Ökonomisierung der Schrift und damit zu einer Erhöhung der Schreibgeschwindigkeit (s.o.). Diese ontogenetische Erscheinung spiegelt sich wider in der Genese von Schriften (Daniels, 2006).

Modelle des Schreibens

Basierend auf Mortons Logogen Modell (1980) und einer Reihe von Erkenntnissen aus neurolinguistischen Fallstudien entwickelte Ellis (1982, 1988; Ellis & Young, 1996) ein

modularisiertes und hierarchisches Modell der handschriftlichen Wortproduktion. Ausgangspunkt dieses Modells ist die semantische Repräsentation eines Konzeptes im so genannten Cognitive System. Für die Schreibung eines Wortes stehen zwei Wege zur Verfügung: Der erste Weg beruht auf der phonologischen Repräsentation des Wortes, die über das Speech Output Logogen System genannte Modul zur Verfügung gestellt wird und im Phonemic Buffer zwischengespeichert wird. Die vorliegende Phonemkette wird anschließend Schritt für Schritt in eine Graphemkette übersetzt, die wiederum zwischengespeichert werden muss (im Graphemic Buffer). Für unbekannte Wörter ist dieser nicht-lexikalische Weg obligatorisch, jedoch können diese nur auf der Basis der bekannten Phonem-Graphem-Korrespondenzen und den dazu gehörigen Kontextregeln generiert werden. Hieraus folgt, dass Schreibungen, die nach diesem System irregulär wären, auf diesem Weg nicht produziert werden können. Für irreguläre Wörter muss daher (analog zum Dual-Route-Model des Lesens [Coltheart, 1978]) ein gesonderter orthographischer Speicher (Lexikon) angenommen werden, das so genannte Graphemic Output Logogen System. Schreibungen, die auf diese Weise zustande kommen, bezeichnet Ellis (1982) als den lexikalischen Weg. Jedoch würde der phonologische Code als Input für dieses System allein nicht ausreichen, da im Falle von Homophonen (z.B. /va:l/) nicht eindeutig wäre, welcher der möglichen orthographischen Kandidaten (im Beispiel <Wal> oder <Wahl>) der richtige ist. Als Alternative wäre der direkte Input aus dem Cognitive System denkbar. Diese Annahme wird gestützt durch das Vorhandensein semantischer Fehler, wenn z.B. auf den bildlichen Stimulus "Biene" schriftlich mit <Ameise> reagiert wird. Jedoch sind semantische Fehler bei gesunden Probanden erheblich seltener als phonologisch plausible Fehler wie z.B. <*Mastganz> als Reaktion auf den schriftlichen Stimulus <Mastgans>. Daher scheint der Input für das Graphemic Output Logogen System sowohl aus semantischem als auch aus phonologischem Code zu bestehen.

Die Trennung der beiden Möglichkeiten zur Schreibung eines Wortes zu gelangen – einerseits lexikalisch und andererseits nicht-lexikalisch – wird gestützt durch Befunde aus der Neuropsychologie. Shallice (1981) berichtet von einem Patienten (PR), dessen Fähigkeit Wörter zu schreiben oder mündlich zu buchstabieren gut erhalten war, der jedoch größte Schwierigkeiten hatte, die gleiche Aufgabe mit Pseudowörtern auszuführen. Perzeptive Ursachen konnten hierbei ausgeschlossen werden, da PR die Pseudowörter in allen Fällen nachsprechen und bis auf wenige Ausnahmen auch vorlesen konnte. Genau gegenteilige Fähigkeiten fanden Beauvois & Dérouesné (1981) bei dem Patienten RG. Dieser konnte für alle ihm vorgeschprochenen Pseudowörter plausible Schreibungen produzieren, konnte jedoch nur 38% der diktierten irregulären Wörter korrekt schreiben (Wörter mit regulärer Orthographie stellten kein Problem dar). Beide Befunde gemeinsam ergeben eine doppelte Dissoziation.

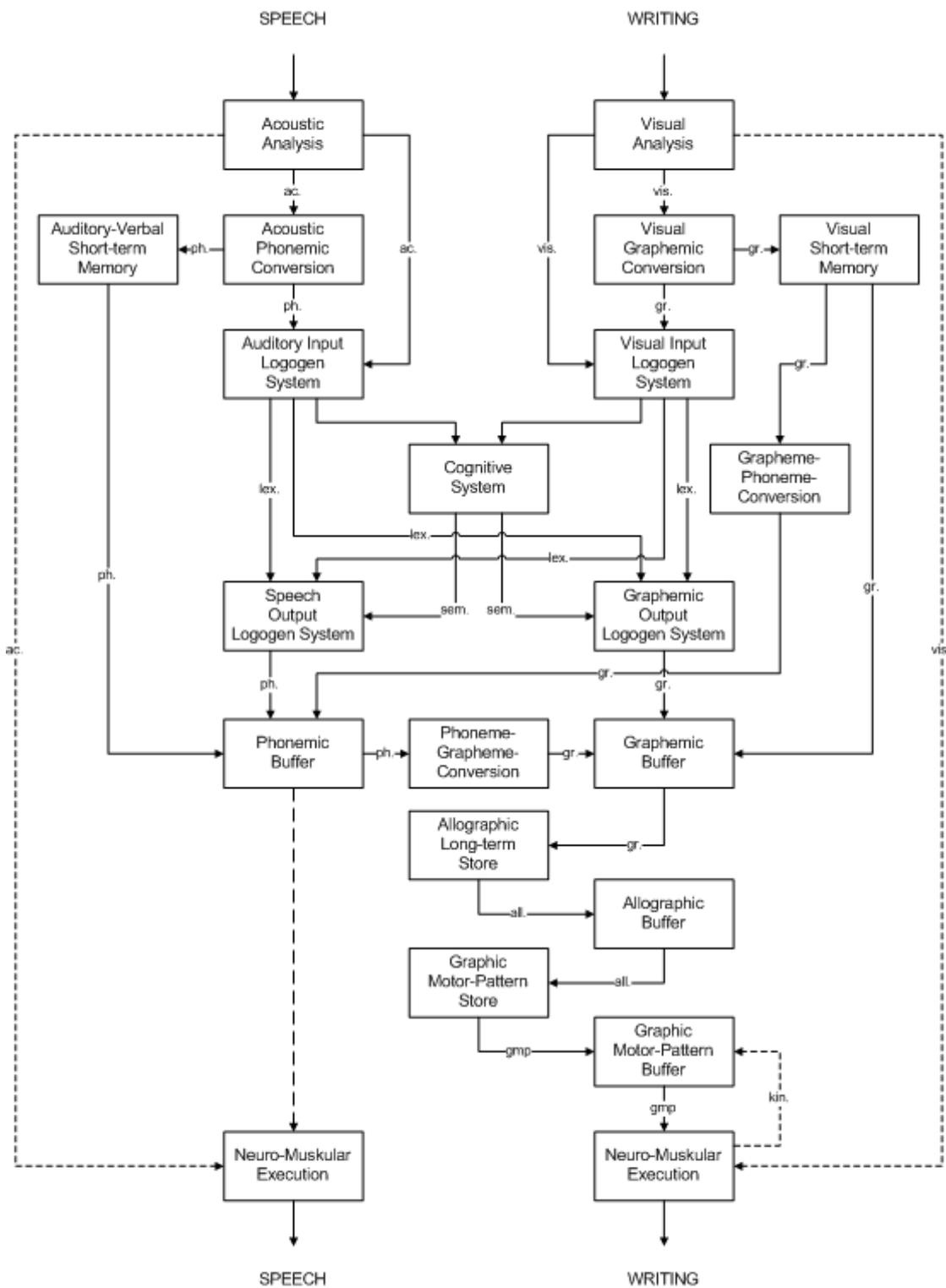


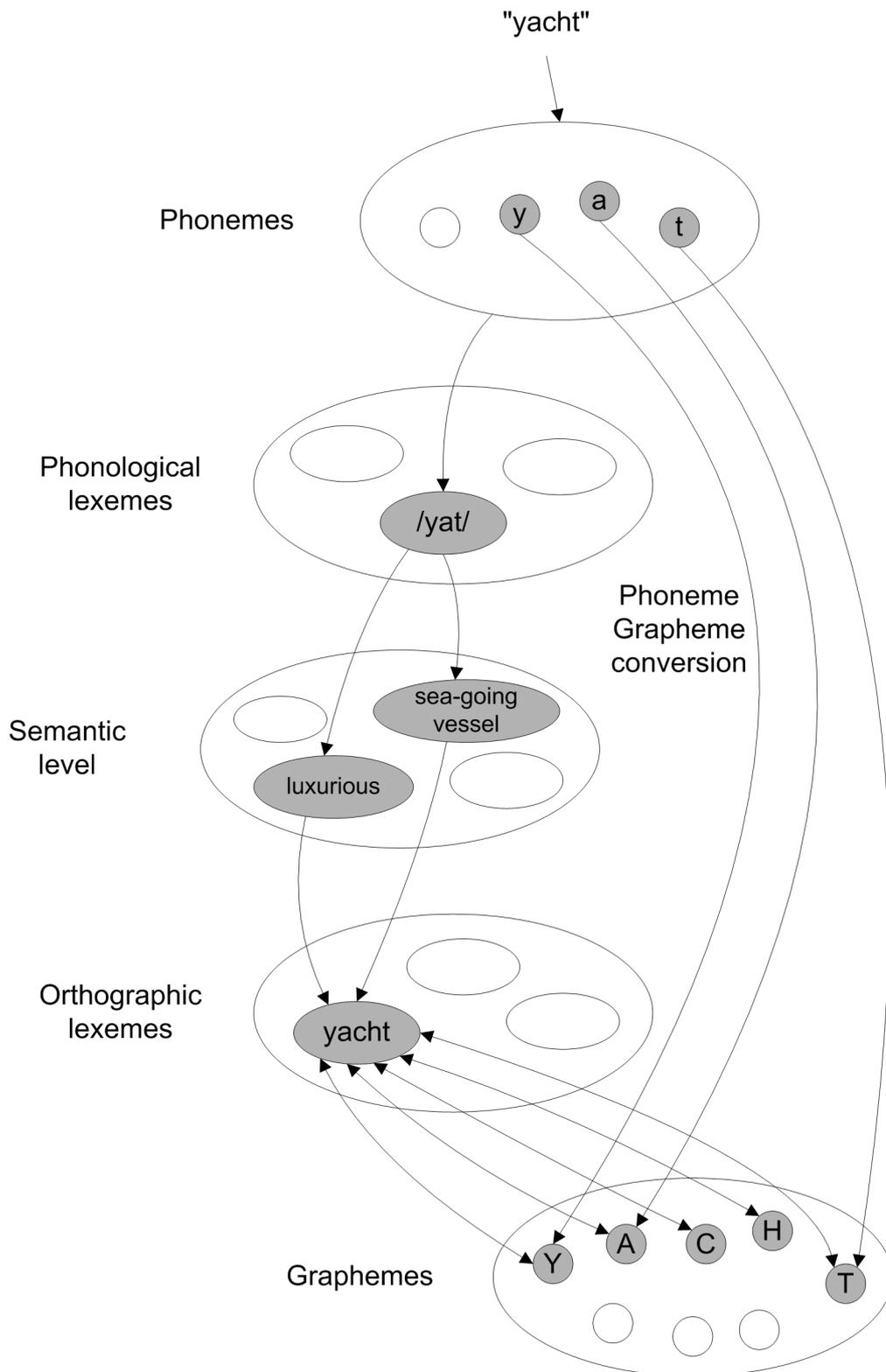
Abbildung 1: Ellis' (1982: 140) Modell des Sprechens und Schreibens. ac. = acoustic code; all. = allographic code; gmp = graphic motor pattern; gr. = graphemic code; kin. = kinaesthetic code; lex. = lexical code; ph. = phonemic code; sem. = semantic code; vis. = visual code

Darüber hinaus scheint es möglich zu sein, dass auf die lexikalische Repräsentation in zweierlei Weise nur teilweise zugegriffen werden kann. So zeigte der Patient von Beauvois & Dérouesné (1981) eine hohe Abhängigkeit von der Wortfrequenz: Je höher die Frequenz eines irregulären Wortes, desto wahrscheinlicher war eine korrekte Schreibung; es konnten also nur bestimmte Wörter geschrieben werden. Die von Morton (1980) beschriebene Patientin konnte in vielen Fällen nur einzelne Zeichen und ihre Position innerhalb des Wortes schreiben (z.B. <Tur__y> von <Turkey>) und nutzte dies um Schwierigkeiten bei der mündlichen Benennung zu umgehen; hier konnte die graphemische Information also nur teilweise abgerufen werden. Des Weiteren konnte die Patientin häufig Wörter schreiben, die sie nicht aussprechen konnte (vgl. auch Sahel et al., 2005). Dies deutet auf die relative Unabhängigkeit des Graphemic Output Logogen System.

Anhand der Fehler des Patienten von Beauvois & Dérouesné (1981) kann eine weitere Strategie zur Schreibung eines Wortes zu gelangen identifiziert werden. In einigen Fällen versuchte er über Analogien zu zugänglichen Wörtern die problematischen Positionen zu füllen (z.B. produzierte er <sym> auf den Pseudowortstimulus in Analogie zu <symbol>). Ellis (1982) sieht die Schreibung per Analogie aufgrund des Zugriffes auf eine lexikalisch gespeicherte Schreibung als funktional lexikalischen Prozess.

Die Phonem-Graphem-Konversion teilt sich wiederum in zwei Prozesse: 1. Die Segmentierung der phonologischen Information in Phoneme oder Silben und 2. die Konversion der Segmente in Grapheme oder Graphemgruppen. Eine zentrale Annahme des Modells von Ellis (1982) ist, dass die hierarchiehöheren Module einschließlich des Graphemic Output Buffer unabhängig von der Form der späteren motorischen Realisierung (Handschrift, Tastaturschrift, mündliches Buchstabieren) sind. In letzterem ist die graphemische Form eines Wortes in noch abstrakter Form repräsentiert, die dann den Input für die folgenden Module bildet. In Anlehnung an die obige Unterscheidung in die abstrakte Repräsentation des Graphems und der dazu gehörigen Allographen sowie der motorischen Ausführung als Graph (vgl. Abbildung 1, Seite 55) nimmt Ellis für die Handschrift drei Stufen der Repräsentation an (graphemic, allographic, graphic motor-pattern), deren Output jeweils in einem speziellen Speicher zwischengespeichert wird. Die zu realisierenden Grapheme aus dem Graphemic Buffer bilden den Input für den Allographic Long-term Store in dem der jeweils passende Allograph (Majuskel/Minuskel; Schrifttype; evtl. Kontextinformation) ausgewählt wird. Fehler bei der Auswahl des Allographen würden sich im Endprodukt z.B. durch Großbuchstaben innerhalb eines Wortes oder unregelmäßige Verwendung der Schrifttype bemerkbar machen.

Eine Weiterentwicklung stellt das Modell von Tainturier & Rapp (2001) dar.



Literaturangaben

- Beauvois, M.-F. & Dérouesné, J. (1981). Lexical or orthographic dysgraphia. *Brain*, 104, 21-50.
- Daniels, P. T. (2006). On beyond alphabets. In M. Neef & G. Nottbusch (Eds.) *Written language and literacy*, 9(1), 7-24.
- De Marées, H. (1981). *Sportphysiologie*. 3. Auflage. Medizin von heute Bd. 10. Köln: Tropon.
- Denier van der Gon, J. J. & Thuring, J. P. (1965). The guiding of human writing movements. *Biological Cybernetics*, 2, 145-148.
- Ellis, A. W. (1982). Spelling and writing (and reading and speaking). In A. W. Ellis (Ed.), *Normality and pathology in cognitive functions* (pp. 113-146). New York: Academic Press.
- Ellis, A. W. (1988). Normal writing processes and peripheral acquired dysgraphias. *Language and Cognitive Processes*, 3, 99-127.
- Ellis, A. W. & Young, A. W. (1996). Spelling and writing. In A. W. Ellis & A. W. Young (Eds.) *Human cognitive neuropsychology* (augmented edition, pp. 163-190). Hove: Psychology Press.
- Grünewald, H. (1970). *Schrift als Bewegung. Empirische Untersuchungen über die Bewegungsstruktur der Lateinischen Ausgangsschrift und das schreibmotorische Verhalten*. Studien zur Pädagogischen Psychologie Bd. 7. Deutsches Institut für Internationale Pädagogische Forschung, Abteilung Pädagogische Psychologie. Weinheim: Beltz.
- Grünewald, H. (1987). Argumente für die Vereinfachte Ausgangsschrift im Hinblick auf die Rechtschreibung. In I. Naegele & R. Valtin (Eds.) *Rechtschreibunterricht in den Klassen 1-6* (pp. 97-102). Frankfurt a.M.: Arbeitskreis Grundschule e.V.
- Frede, A., Grünewald, H. & Kleinert, I. (2002). Der Schreib-Kurs zur Vereinfachten Ausgangsschrift. *Praxis Grundschule*, 25, 4-34.
- Kandel, S., Orliaguet, J.P., & Boë, L.J. (1994). Visual perception of motor anticipation in the time course of handwriting. In C. Faure, P. Keuss, G. Lorette, A. Vinter (Eds.), *Advances in Handwriting and Drawing: A Multidisciplinary Approach* (pp. 379-388). Paris: Europa
- Mahrhofer-Bernt, C. (2005). Die eigene Schrift entwickeln – von Anfang an. Wie kann Schreibunterricht die graphomotorische Entwicklung angemessen unterstützen? *Grundschule Aktuell*, Heft 91, 21-25.
- Mahrhofer, C. (2004). *Schreibenlernen mit graphomotorisch vereinfachten Schreibvorgaben. Eine experimentelle Studie zum Erwerb der verbundenen Ausgangsschrift in der 1. und 2. Jahrgangsstufe*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Mahrhofer, C. & Speck-Hamdan, A. (2001). Schreibenlernen - ein Kinderspiel? Eine Analyse des Erstschreibunterrichts aus graphomotorischer Sicht auf der Basis neuerer Forschungsergebnisse. *Grundschule*, 2001(2), 39-41.
- Mai, N. (1991). Warum wird Kindern das Schreiben schwer gemacht? Zur Analyse der Schreibbewegungen. *Psychologische Rundschau* 42, 12-18.
- Mai, N. & Marquardt, C. (1995^a). Analyse und Therapie motorischer Schreibstörungen. *Psychologische Beiträge*, 37, 538-582.
- Mai, N. & Marquardt, C. (1995^b). *Schreibtraining in der neurologischen Rehabilitation*. Dortmund: Borgmann.
- Mai, N. & Marquardt, C. (1998). Registrierung und Analyse von Schreibbewegungen: Fragen an den Schreibunterricht. In: L. Huber, G. Kegel & A. Speck-Hamdan (Eds.), *Einblicke in den Schriftspracherwerb* (pp. 83-99). Braunschweig: Westermann.
- Mai, N., Marquardt, C. & Quenzel, I. (1997). Wie kann die Flüssigkeit von Schreibbewegungen gefördert werden? In: H. Balhorn & H. Niemann, *Sprachen werden Schrift. Mündlichkeit, Schriftlichkeit, Mehrsprachigkeit* (pp. 220-230). Lengwil: Libelle.
- Marquardt, C., Gentz, W., & Mai, N. (1996). On the Role of Vision in Skilled Handwriting. In M.L. Simner, C.G. Leedham & A.J.W.M. Thomassen (Eds.), *Handwriting and Drawing Research: Basic and Applied Issues* (pp. 87-98). Amsterdam, Oxford, Tokyo, Washington, DC: IOS Press.
- Meis, R. (1963). *Schreibleistungen von Schulanfängern und das Problem der Anfangsschrift*. Göttingen: Hogrefe.

- Meulenbroek, R. G. J. & van Galen, G. P. (1986). Movement analysis of repetitive writing behavior of first, second and third-grade primary school children. In H. S. R. Kao, G.P. van Galen & R. Hoosain (Eds.): *Graphonomics: Contemporary research in handwriting* (pp. 133-139). Amsterdam: North Holland.
- Meulenbroek, R. G. J. & van Galen, G. P. (1990). Perceptual-motor complexity of printed and cursive letters. *The Journal of Experimental Education*, 58, 95-110.
- Morton, J. (1980). The logogen model and orthographic structure. In U. Frith (Ed.), *Cognitive processes in spelling* (pp. 117-133). London: Academic Press.
- Sahel, S., Nottbusch, G., Weingarten, R. & Blanken, G. (2005). The role of phonology and syllabic structure in the time course of typing: Evidence from aphasia. *Linguistische Berichte*, 201, 65-87.
- Schiebler, T. H. (2005). Bewegungsapparat, Extremitäten: Unterarm & Hand. In T. H. Schiebler (Ed.), *Anatomie: Histologie, Entwicklungsgeschichte, makroskopische und mikroskopische Anatomie, Topographie*. (Vol. 9, 267-287). Berlin: Springer.
- Seitz, R. J. (1995). Repräsentation motorischer Fähigkeiten im Gehirn des Menschen. *Psychologische Beiträge*, 37, 239 – 296.
- Shallice, T. (1981). Phonological agraphia and the lexical route in writing. *Brain*, 104, 413-429.
- Tainturier, M.-J. & Rapp, B. (2001). The spelling process. In B. Rapp (Ed.): *The Handbook of cognitive neuropsychology. What deficits reveal about the human mind* (pp. 263-289). Hove: Psychology Press
- Tarnopol, M. & Feldman, N. (1987). Handwriting and school achievement: A cross-cultural study. In J. Alston & J. Taylor (Eds.), *Handwriting: Theory, Research, and Practice*. London: Croom Helm.
- Teulings, H.-L. & Schomaker, L. R. B. (1993). Invariant properties between strike features in handwriting. *Acta Psychologica*, 82, 69-88.
- Topsch, W. (1996). *Das Ende einer Legende. Die Vereinfachte Ausgangsschrift auf dem Prüfstand. Analyse empirischer Arbeiten zur Vereinfachten Ausgangsschrift*. Donauwörth: Auer.
- van Galen, G. P., Smyth, M.M., Meulenbroek, R. G. J. & Hylkema H. (1989). The role of short-term memory and the motor buffer in handwriting under visual and non-visual guidance. In R. Plamondon, C. Y. Suen & M. L. Simner (Eds.), *Computer recognition and human production of handwriting* (pp. 253-271). Singapore: World Scientific Publishers.
- Wiesendanger, M. (2005). Motorische Systeme. Zielbewegungen des Armes und Greifen. In R. F. Schmidt, F. Lang & G. Thews (Eds.), *Physiologie des Menschen mit Pathophysiologie* (pp. 164-171). Heidelberg : Springer
- Wing, A. M. (1978). Response timing in handwriting. In G. E. Stelmach (Ed.), *Information processing in motor control and learning* (pp. 153-172). New York: Academic Press.